

UDK 624.011.001.7

Primljeno 22. 5. 2002.

Nov pristup građenju drvenih mostova

Miljenko Haiman

Ključne riječi

drveni most,
cestovni most,
pješački most,
lamelirano drvo,
drvene kolničke ploče,
ekonomika građenja
drvenih mostova,

Key words

wooden bridge,
road bridge,
pedestrian bridge,
laminated wood,
wooden deck slabs,
cost-effectiveness of
wooden bridge
construction

Mots clés

pont en bois,
pont routier,
passerelle, bois lamellé,
dalles en bois du tablier,
économie de construction
des ponts en bois,
durée de vie des ponts en
bois

Ключевые слова

деревянный мост,
дорожный мост,
пешеходный мост,
ламинированная
древесина, деревянные
плиты мостовых,
экономика строительства
деревянных мостов,

Schlüsselworte:

Holzbrücke,
Strassenbrücke,
lamelliertes Holz,
Holzfahrbahnplatten,
Wirtschaftlichkeit des
Baues von Holzbrücken,
Dauerhaftigkeit von
Holzbrücken

M. Haiman

Novi pristup građenju drvenih mostova

U radu se izlažu pogledi na novi pristup građenju drvenih mostova. S obzirom na to da se posljednjih desetak godina u Europi i Sjevernoj Americi drveni mostovi češće pojavljuju kao cestovni i pješački mostovi, postali su značajniji. Ukratko je prikazano građenje novijih tipova drvenih mostova u Hrvatskoj te u Norveškoj i SAD-u. Prikazuju se i neki ekonomski pokazatelji opravdanosti građenja drvenih mostova, posebno onih sa poprečno prednapetim lameliranim drvenim kolničkim pločama.

M. Haiman

Novel approach to construction of wooden bridges

A novel approach to the construction of wooden bridges is commented in the paper. The significance of such bridges has increased over the last decade in Europe and in North America as evidenced by higher rate of construction of road and pedestrian bridges made of wood. The construction of new types of wooden bridges in our country, in Norway, and in the U.S.A., is briefly described. Some economic indicators in favor of construction of wooden bridges, particularly those with transversely prestressed laminated wooden deck slabs, are also presented.

M. Haiman

Une nouvelle approche de la construction des ponts en bois

L'article expose des vues nouvelles sur la construction des ponts en bois. Depuis une dizaine d'années, les ponts en bois sont de plus en plus construits en Europe et aux Etats-Unis comme ponts routiers et passerelles. On présente brièvement les modalités de construction de nouveaux types de ponts en bois chez nous, en Norvège et aux Etats-Unis. On fournit également certains indicateurs économiques de la faisabilité de construction des ponts en bois, notamment de ceux aux dalles lamellées en bois du tablier, précontraintes transversalement.

М. Хаиман

Новый подход к строительству деревянных мостов

В работе излагаются взгляды в отношении подхода к строительству деревянных мостов. С учётом того, что в последних десятилет лет в Европе и Северной Америке деревянные мосты чаще появляются как дорожные и пешеходные мосты, значение их стало бóльшим. Вкратце показано строительство более новых типов мостов в Хорватии а также в Норвегии и в США. Даются и некоторые экономические показатели обоснованности строительства деревянных мостов, особенно тех с поперечно-предварительно напряжёнными ламелированными деревянными плитами мостовых.

M. Haiman

Ein neuer Zutritt zum Bau von Holzbrücken

Im Artikel werden Blicke zu einem neuen Zutritt zum Bau von Holzbrücken ausgelegt. Hinsichtlich der Tatsache dass in den letzten zehn Jahren in Europa und Nordamerika Holzbrücken immer häufiger als Strassen- und Fussgängerbrücken erscheinen, gewinnen sie an Bedeutung. Kurz ist der Bau neuerer Holzbrückentypen in Kroatien, Norwegen und den USA dargestellt. Es sind auch einige wirtschaftliche Kennzeichen der Berechtigung des Baues von Holzbrücken dargestellt, besonders für solche mit quer vorgespannten lamellierten Holzfahrbahnplatten.

Stručni rad

Professional paper

Ouvrage professionnel

Отраслевая работа

Fachbericht

Autor: Dr. sc. **Miljenko Haiman**, dipl. ing. građ., viši asistent Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Kačićeva 26

1 Prvi drveni cestovni most s poprečno prednapetom kolničkom pločom u Hrvatskoj

Prvi cestovni drveni most sa kolničkom pločom od poprečno prednapetog lameliranog drva izveden je u Hrvatskoj 2000. godine. Uzdužni presjek mosta prikazan je na slici 1.

Most je projektiran i izveden na privremenoj lokaciji kraj Zagreba za privatnog naručitelja. Pošto se riješe imovinsko-pravni problemi oko vlasništva zemljišta, most će biti prenesen na konačno mjesto u blizini Okrugljaka u Mlinovima, u Zagrebu.

Ukupna masa mosta jest oko 22 tona i relativno lako može biti prenesen i montiran u jednom danu na prethodno pripremljene armiranobetonske upornjake. Širina mosta je 5,90 m, a ukupna duljina 17,5 m (raspon 17 m). Kolnička ploča je čeličnim trnovima spregnuta s glavnim i poprečnim nosačima.

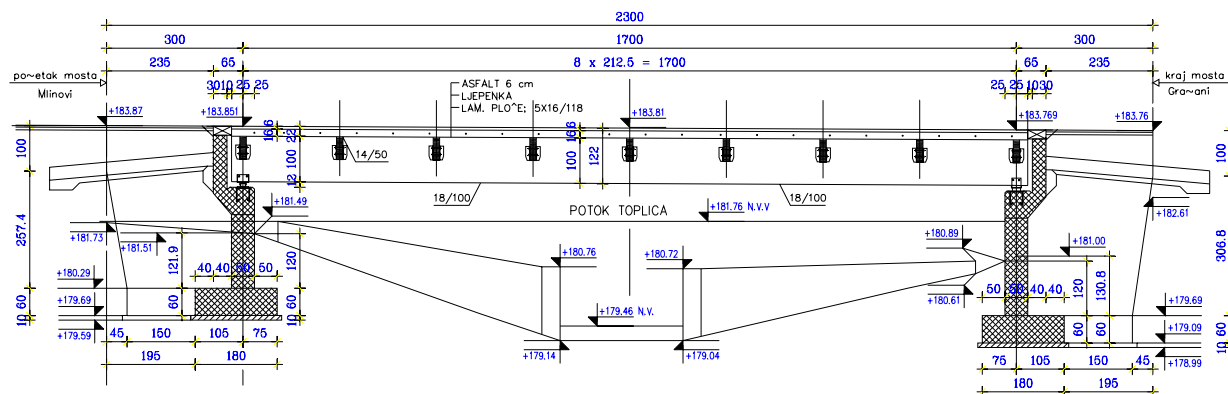
Završni sloj na lameliranoj drvenoj poprečno prednapetoj ploči jest 6 cm asfalta. Most, koji vodi na privatni posjed, nema projektiranih pješačkih traka, već samo dva kolnička traka širine 2,75 m.

S pomoću programske podrške COSMOS/M 2.5, provedene su statičke, dinamičke analize (analize titranja mosta) i analiza eventualno moguće pojave izbočavanja.

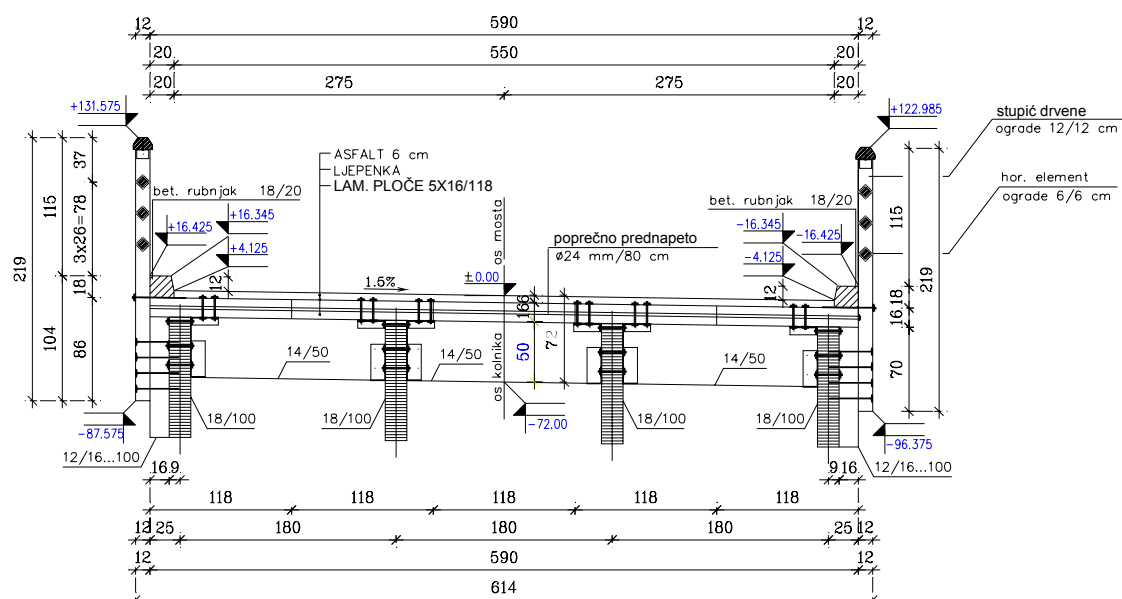
Statička analiza provedena je za opterećenje pješacima po cijelom mostu intenziteta $p = 5,0 \text{ kN/m}^2$ i za osovinsko opterećenje vatrogasnim vozilom intenziteta 60 kN po jednoj osovini.

Analizirano je nekoliko različitih mogućih slučajeva kritičnog opterećenja.

Na slici 2. prikazan je karakteristični poprečni presjek mosta. Most na privremenoj lokaciji prikazan je na slici 3. Detalji poprečnog prednapinjanja kolničke ploče i ograde su na slici 4.



Slika 1. Uzdužni presjek konstrukcije mosta



Slika 2. Karakteristični poprečni presjek drvenog mosta s lameliranom kolničkom pločom



Slika 3. Most izveden na privremenoj lokaciji

Pri projektiranju detalja izvedbe posebna je pažnja posvećena zaštiti konstrukcije koja je vrlo bitna kod drvenih mostova.

Dobrom zaštitom konstrukcije moguće je znatno produžiti vijek trajanja mosta. Osim konstruktivne zaštite mosta provodi se i kemijska zaštita antiinsekticidnim i antifungicidnim sredstvima i zaštita od vlage na otvorenom.



Slika 4. Detalj poprečnog prednapinjanja kolničke ploče

Drvena konstrukcija mosta odobrena je na zahtjev urbanista da bi se što bolje uklopio u okolinu te da bude tzv. parkovnog tipa. Ima i niz drugih prednosti građenja drvenih mostova o čemu se govori u nastavku.

Opisani most je prikazan na nedavno održanom skupu 81. *TRB Annual Meeting* u Washingtonu.

2 Drveni mostovi u Norveškoj

Sudionik spomenutog skupa u Washingtonu bio je i gosp. dipl. ing. Otto Kleppe iz Norveške državna uprava za ceste (*Norwegian Public Roads Administration*). On je izložio vrlo zanimljiv rad u kojem je opisano i moderno projektiranje drvenih konstrukcija [3].

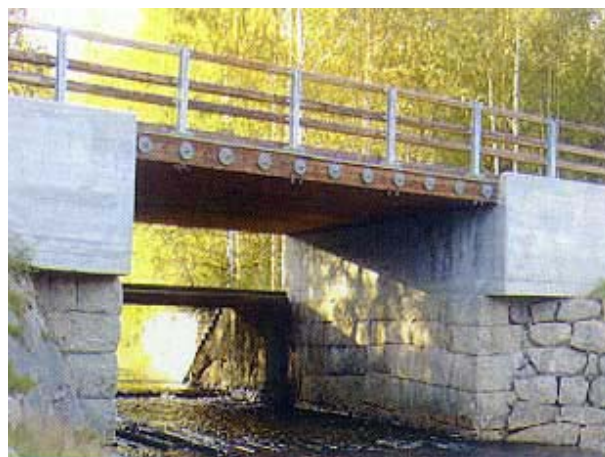
Građenju drvom, posebno drvenih mostova, u Norveškoj se posvećuje posebna pažnja. Drveni se mostovi najčešće grade kao cestovni ili pješački. Cestovni su mostovi često nadvožnjaci pri odvajanju cestovnih tokova brzih cesta ili autocesta.

Današnje spoznaje o drvenim mostovima pokazuju opravdanost njihove česte upotrebe u mostogradnji manjih prijelaza vodotoka, gradnji pješačkih mostova i cestovnih

prijelaza. Najčešće se kao kolnička ili hodna ploha rabi poprečno prednapeta drvena lamelirana ploča. Lamelirana ploča može biti lijepljena ili u posljednje vrijeme sve češće izvedena od sjekomice postavljenih dasaka spajanih čavlima. Takav način izvedbe kolničke ploče prihvaćen je iz ekonomskih razloga, jer su takve kolničke ploče nešto jeftinije. Daske (platice) postavljane su sjekomice i međusobno spajane čavlima. Prije spajanja dasaka provede se njihova zaštita, obično dubinskim impregniranjem. Na tako pripremljenu podlogu direktno se postavlja završni slojevi asfalta.

Iz spomenutog rada autora gosp. Otta Kleppea prikazuje se nekoliko zanimljivih drvenih mostova.

Slika 5. prikazuje pločasti cestovni most koji je izveden kao lamelirana drvena poprečno prednapeta ploča. Jasno se vide mjesta ugradnje čeličnih šipki za poprečno prednapinjanje i velike podložne pločice preko kojih se prenose tlačna naprezanja okomita na vlakanca.



Slika 5. Mattisdammen most, poprečno prednapeta drvena ploča

Na slici 6. vidi se jedan pješački nadvožnjak kod kojeg je glavna nosiva konstrukcija izvedena kao drvena rešetka, a hodna ploha je poprečno prednapeta lamelirana drvena ploča oslonjena na poprečne čelične gredne nosače. Širina hodne plohe je 1,8 m, a gredni raspon rešetke je 24,0 m. Most je izveden 2000.



Slika 6. Nesoddvegen most, drveni rešetkasti pješački most

Na slici 7. je gredni drveni cestovni most Grylla. Glavne su grede mosta visine oko 1,2 m, a glavni raspon mosta je 10 m. Most je izveden 1997. godine.



Slika 7. Grylla drveni gredni cestovni most

U poprečnom presjeku ima sedam drvenih glavnih greda preko kojih je položena čeličnim šipkama uobičajeno poprečno prednapeta kolnička ploča. Drvene daske su dimenzija 48 × 198 mm.

Na slici 8. je drveni lučni cestovni most Fønhus izveden 1998. godine. Raspon luka mosta je 28 m, a ukupna duljina mosta je 35,5 m. Istaknuto je da je u Norveškoj izveden samo jedan most ovakvog tipa, s glavnim nosivim lukom ispod kolničke plohe. Isto tako autor rada naglašava da su ovakvi mostovi cijenom konkurentni betonskim mostovima. A neupitno je da su i nizom drugih prednosti drveni mostovi konkurentni betonskim mostovima.



Slika 8. Fønhus drveni lučni most



Slika 9. Bočni pogled na Tynset most, (rasponi 70+28+28 m)

Drveni cestovni most prikazan na slici 9. pušten je u promet u srpnju mjesecu 2001. godine. Glavnu konstrukciju mosta tvore dvozgladni rešetkasti nosači raspona 70 m, na koje se nadovezuju dva identična trozglabna lučna

raspona od po 28 m te čine ukupnu duljinu mosta od 126 m. Na spomenute glavne nosive elemente zavješena je čelična potkonstrukcija preko koje je položena poprečno prednapeta drvena kolnička ploča.

Posebna pažnja posvećena je zaštiti drvenih lučnih elemenata gdje je preko gornje površine lukova položen zaštitni bakreni lim.

Još su neki podaci iz ovoga rada zanimljivi. U razdoblju od 1992. do 2000. godine u Norveškoj su izvedena 43 drvena mosta, od čega je bilo 29 pješačkih ukupne duljine gotovo 1000 m i 14 cestovnih ukupne duljine oko 465 m. Najviše je lučnih cestovnih mostova, a pješački su najčešće grednog tipa. (ukupno 14).

U Norveškoj su se drveni mostovi konstruirali i prije 1990. ali mnogo manje. U projektu «*Nordic Timber Bridge Project*» od 1995. drveni mostovi zauzimaju značajnije mjesto u gradnji svih mostova.

Neki važni čimbenici pri odlučivanju o uporabi drva u gradnji mostova su sljedeći:

- drveni su mostovi relativno lagani tj. imaju manju vlastitu težinu (otporniji su na potres)
- manji je utrošak vremena za održavanje
- lako su prenosivi i lako ih se montira
- moguća je brza zamjena glavne nosne konstrukcije, o čemu se pri građenju također razmišlja (ekonomski faktor)
- imaju povećanu otpornost na kemikalije koje se mogu pojaviti u cestovnom prometu
- kloridi ih ne uništavaju nego pridonose njihovoj zaštiti
- šire su mogućnosti gradnje u različitim vremenskim uvjetima.

Nema dvojbe da bi se i u našim uvjetima prilikom odabira glavne nosne konstrukcije trebalo slično razmišljati, uzimajući u obzir sve što je već navedeno.

Ima niz radova koji analiziraju i prikazuju ekonomske opravdanosti građenja drvenih mostova, a neki od njih se navode u popisu literature uz ovaj članak.

3 Građenje drvenih mostova u SAD-u

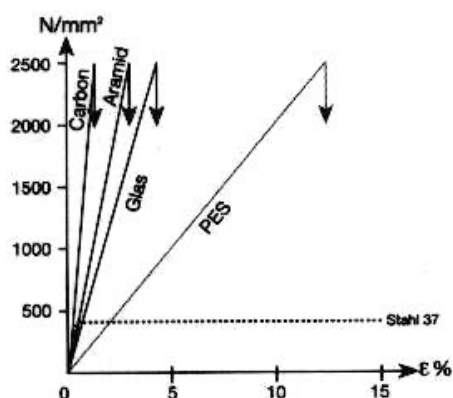
Daje se samo kratki osvrt na građenje drvenih mostova u SAD-u. Od oko 547.000 mostova u SAD-u, 7% čine drveni mostovi [1], što je više od 38.000 mostova. Samo od 1980. godine izgrađeno je više od 400 drvenih mostova s poprečno prednapetom kolničkom pločom. Većina tih mostova izvedena je prema uputama za oblikovanje poprečno prednapetih kolničkih drvenih ploča (izvorno *Guide Specifications for the Design of Stress-laminated Wood Decks*) koje je izdala Američka asocijacija za državne magistralne ceste i transportne službe (AASHTO), 1991. godine.

Posljednjih desetak godina intenzivno se istražuju, a u posljednje vrijeme i izvode, drveni cestovni mostovi kojima se kod glavnih lameliranih nosača vlačne zone lameliranog drva ojačavaju trakama od ugljikovih niti ili jeftinijim trakama od poliesterskih niti (PES). Postoji paleta novih proizvoda traka visoke vlačne čvrstoće koje se pojavljuju pod zajedničkim nazivima:

FRP – Fibre Reinforced Polymer

- CFRP- Carbon Fibre Reinforced Polymer
- GFRP – Glas Fibre Reinforced Polymer
- AFRP – Aramid Fibre Reinforced Polymer
- ACRC - hibridi od aramidnih i ugljikovih niti.

Na slici 10. je dijagram $\sigma - \varepsilon$ za spomenute vrste traka visoke vlačne čvrstoće. Treba primijetiti da se tim trakama koje se relativno jednostavno lijepljenjem ugrađuju unutar drvenog presjeka može znatno pridonijeti ojačanju drvenih lameliranih nosača.



Slika 10. $\sigma - \varepsilon$ dijagram za FRP trake sa različitim vrstama niti

Na spomenutom skupu u Washingtonu bilo je nekoliko radova iz tog područja. Nove tehnologije omogućuju bržu i jeftiniju proizvodnju FRP traka i širu primjenu.

IZVORI

- [1] Duwadi, S. R.; Ritter, M. A.: *Timber Bridges in the United States*; Public Roads, 1997.
(<http://www.tfhrc.gov/pubrds/winter97/p97wi32.htm>)
- [2] *The National Wood In Transportation Program; Information on Modern Bridges in United States, 1988.-2001.*, Zbornik radova u području građenja drvenih mostova., 2001.
- [3] Kleppe, O.; Dyken, T.: *The Nordic Timber Bridge Project and the Norwegian Approach to Modern Timber Bridge Design*; 81st TRB Annual Meeting, Washington DC, 2002.
- [4] Duwadi, S. R.; Ritter, M. A.: *Timber Bridges for the 21st Century – A Summary of New Developments*, IABSE Conference Lahti 2001, Innovative Wooden Structures and Bridges, Lahti 2001, Finska
- [5] Jutila, A.: *Rules Concerning the Design of Nordic Timber Bridges*, Helsinki University of Technology, 1996.
- [6] Lindberg, G.: *Reasons for Choosing a Timber Bridge*; Gunnar Lindberg AB, 1997.
- [7] Haakana, P.: *Construction Costs of Timber Bridges in Comparison with Concrete, Pre-stressed Precast Concrete and Steel Bridges in Finland*, Helsinki University of Technology, 1997.
- [8] Haiman M.: *A Timber Road Bridge in Zagreb*, IABSE Conference Lahti 2001, Innovative Wooden Structures and Bridges, Lahti 2001, Finska
- [9] Haiman, M.: *A New Style Timber Bridge in Zagreb*; 81st Annual Meeting Washington DC, 2002.

Glede stavova vezanih uza sve veću upotrebu drvenih mostova u cestovnoj izgradnji, mnogi američki autori u zborniku [2] ističu gotovo identične stavove onima navedenim u primjeru intenzivnog građenja drvenih mostova u Norveškoj.

Poseban je naglasak na ekonomskim parametrima i povoljnijim uvjetima održavanja te prirodnu otpornost drva na mnoge kemijske agense. Cijenom su drveni mostovi potpuno konkurentni bilo kojoj vrsti betonskih mostova.

U građenju manjih cestovnih i pješačkih mostova, drvo je građevinski materijal 21. stoljeća prema predviđanjima autora rada [4].

4 Zaključak

Ovim člankom se željelo istaknuti da je građenje novih tipova drvenih pješačkih ili cestovnih mostova sve intenzivnije u razvijenim zemljama, a posebno, Norveškoj, USA, Kanadi, Finskoj, Švedskoj i dr.

Kod nas postoji tradicija građenja klasičnih drvenih mostova pretežno cestovnih za manja opterećenja. Preko riječnih vodotokova u Hrvatskoj još uvijek postoji nekoliko desetaka drvenih mostova. No treba obratiti pažnju na mogućnosti građenja novih cestovnih mostova s kolničkim pločama od lameliranog lijepljenog drva ili ploča izvedenih od sjekomice postavljenih dasaka spajanih čavlima. Kolničke ploče su zbog većeg pokretnog opterećenja uglavnom poprečno prednapete i vrlo često prekrivene slojem asfalta. Ekonomski gledano ovakvi mostovi su na spomenutim rasponima konkurentni bilo kojem drugom tipu mosta.

U članku je spomenut niz razloga koji mogu utjecati na investitore kod odluke o građenju ovakvih ili sličnih tipova drvenih mostova, a posebno treba naglasiti mogućnosti izvedbe nadvožnjaka na našim autocestama u izgradnji ili preko njih. Rasponi glavne nosive rasponske konstrukcije do 30 m nisu danas nikakav problem.